

L 765t

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM
ĐẠI HỌC VÀ TRUNG HỌC CHUYÊN NGHIỆP

ĐOÀN ĐỊNH KIẾN

KẾT CẤU THÉP ỨNG LỰC TRƯỚC TRONG CÔNG TRÌNH CỘT CAO

Ngành chuyên môn : 1902 Kết cấu xây dựng

Bản tóm tắt nội dung luận án bảo vệ học vị Phó tiến
sỹ Khoa học kỹ thuật.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG
HÀ NỘI 1979

Người đọc luận án, viết nhận xét: 1/ Bùi Kường
Phó giáo sư - Viện Kỹ thuật 9. T. 3
2. Phạm Kinh Cậy, PTS, Viện Khoa học Kỹ
thuật XD CB

Cơ quan đọc luận án viết nhận xét:

Viện An ninh Quốc gia

Bản tóm tắt luận án được gửi đi ngày 2 tháng 5 năm 1979.

Ngày bảo vệ luận án trước Hội đồng chấm luận án nhà nước: ngày 24 tháng 1 năm 1981

Có thể đọc luận án tại:

L765t Thư viện trường Đại học Xây dựng.

— Phòng thí nghiệm công trình — Nhà C3 trường Đại học Bách - khoa.

Kết cấu thép ứng lực trước là một trong những phương hướng phát triển của tiến bộ kỹ thuật xây dựng, cho phép nâng cao tính hiệu quả của kết cấu, nghĩa là tăng khả năng chịu lực với khối lượng vật liệu ít. Kết cấu thép ứng lực trước đã được áp dụng rộng rãi trong các công trình nhà, cầu, và cả trong các công trình cột cao. Ở nước ta hiện nay, chúng ta đã có điều kiện và khả năng sử dụng kết cấu thép ứng lực trước trong kết cấu xây dựng nói chung và trong công trình cột cao, một loại công trình bằng thép sẽ được xây dựng nhiều.

Luận án này có mục đích nghiên cứu sự làm việc và tính toán các cấu kiện ứng lực trước được áp dụng trong công trình cột cao; phân tích sự hợp lý về kinh tế kỹ-thuật của các dạng cấu kiện khác nhau và cuối cùng đề xuất được các phương pháp tính toán thuận tiện, để sử dụng trong thiết kế thực tế.

Luận án gồm có phần mở đầu, 5 chương và phần kết luận.

CHƯƠNG I trình bày tổng quát về kết cấu thép ứng lực trước áp dụng trong các công trình xây dựng, đặc biệt trong kết cấu cột cao. Trong chương này cũng giới thiệu về các

công trình nghiên cứu cấu kiện thép ứng lực trước chịu, nén và nén uốn của các tác giả Liên - xô, Trung - quốc Mỹ, Ru - ma - ni, Việt - nam từ năm 1946 đến năm 1976. Tổng quát các tài liệu thu thập được cho thấy các tác giả nghiên cứu riêng từng loại cấu kiện với những giả thiết khác nhau, phương pháp khác nhau, không tạo thành hệ thống; các công thức tính toán thường dài, không cho dưới dạng tường minh mà phải giải các phương trình siêu việt phức tạp; chưa thấy tài liệu phân tích về kinh tế, về phạm vi sử dụng hợp lý của các dạng cấu kiện; chưa thấy tài liệu nói về sự làm việc và cách tính toán cấu kiện ứng lực trước nằm trong công trình cột cao. Nội dung chính của luận án là nhằm bổ sung các điều đó. Một số sai lầm của một vài tác giả cũng được chỉ ra trong chương này. Trên cơ sở các loại cấu kiện đã được nghiên cứu tập hợp giới thiệu trong chương này, đã lựa chọn ra 2 loại cấu kiện chính để nghiên cứu tiếp trong các chương sau.

CHƯƠNG II nghiên cứu sự làm việc và cách tính toán các dạng cấu kiện cơ bản đã chọn. Tác giả đã tập hợp chúng thành 2 dạng chính:

Dạng A: Dây căng bao ngoài suốt chiều dài cấu kiện.

Dạng B: Dây căng từng đoạn, tạo nên hình thoi nhiều tầng.

Tùy theo số lượng chống, mỗi dạng chính được chia ra các dạng nhỏ: A1, A2, A3..... và B1, B2, B3..... Các thanh chống liên kết khớp với thân.

Mỗi dạng cấu kiện được nghiên cứu theo các nội dung sau :

- Sự làm việc của cấu kiện chịu nén đúng tâm.
- Tính toán về ổn định khi nén đúng tâm.
- Sự làm việc của cấu kiện khi chịu nén uốn.

Việc tính toán dựa trên các giả thiết cơ bản sau :

- Vật liệu làm việc đàn hồi.
- Biến dạng của cấu kiện là biến dạng nhỏ.
- Cấu kiện làm việc trong một mặt phẳng.

Dưới tác dụng của lực nén, thân và dây căng cùng co ngắn, từ điều kiện đồng biến dạng giữa dây và thân, xác định được phần lực nén truyền lên thân và phần lực nén làm giảm lực căng trước trong dây. Lực tới hạn khi nén đúng tâm được xác định theo ba trạng thái mất ổn định: đối xứng, phản xứng và cục bộ. Khi cấu kiện mất ổn định đối xứng, cả thân và dây cùng tham gia làm việc, khả năng chịu lực có thể rất lớn. Khi cấu kiện dạng A mất ổn định phản đối xứng, dây không tham gia làm việc; lực tới hạn của cấu kiện lớn nhất là bằng 4 lần lực tới hạn của riêng thân. Ở cấu kiện dạng B, dây vẫn tham gia chịu lực khi mất ổn định phản xứng, nên lực tới hạn lớn hơn.

Khi có thêm tải trọng gây uốn, thân cong đi làm lực của dây căng ở một phía tăng lên, một phía giảm đi. Do giả thiết biến dạng nhỏ, trị số lực tăng lên bằng trị số lực giảm đi, nếu không kể phần giảm lực căng chung cả hai bên do thân bị ngắn lại vì uốn cong.

Với việc chọn trị số ứng lực trước trong dây căng một cách thích hợp, vừa đủ cho dây căng không bị chùng,

sự làm việc và khả năng chịu lực của cầu kiện sẽ không phụ thuộc vào trị số của ứng lực trước.

Đó là những kết luận chính rút ra từ việc nghiên cứu lý thuyết sự làm việc của cầu kiện.

Phương pháp tính được chọn tùy theo dạng cầu kiện. Cầu kiện ít đoạn có bậc siêu tĩnh thấp được tính theo phương pháp lực. Để việc tính toán được thuận tiện, tránh giải các phương trình siêu việt, đã đưa vào các

hàm số riêng của đối số $u = l \sqrt{\frac{P}{EJ}}$ và lập bảng sẵn cho các hàm này. Ngoài ra trên cơ sở lời giải của phương pháp lực, đã chuyển được trị số của lực giới hạn dưới dạng đồ thị phụ thuộc tham số hình học v của hầu hết các dạng cầu kiện xét. Đối với cầu kiện có nhiều đoạn (≥ 6 đoạn) khó giải bằng phương pháp chính xác, đã dùng phương pháp sai phân. Thiết lập phương trình đường đàn hồi của cầu kiện dưới dạng sai phân tác giả đã lập được hệ phương trình tuyến tính dưới dạng ma trận giải ra các chuyển vị và nội lực, của cầu kiện. Độ chính xác của phương pháp sai phân được kiểm tra bằng ví dụ bằng số.

Bên cạnh lời giải coi như chính xác của phương pháp lực, tác giả còn sử dụng phương pháp năng lượng, cho lời giải gần đúng nhưng tiện dụng. Với giả thiết đường

cong biến dạng của cầu kiện là hình sin $y = C \sin \frac{\pi x}{l}$,

tính thế năng toàn phần của hệ rồi dùng phương pháp biến phân Ritz, tác giả đã đi đến những công thức đơn giản của lực tới hạn và của biến dạng, nội lực trong các

bộ phận của cấu kiện. Độ chính xác của lời giải theo phương pháp năng lượng cũng được thiết lập bằng cách so sánh với lời giải chính xác, sai số thông thường là từ 1 — 3%. Trong quá trình tính theo phương pháp năng lượng, khác với một số tác giả, ở đây đã xét sự quay của các thanh chống khi cấu kiện biến dạng.

Trên cơ sở phân tích sự làm việc của các dạng cấu kiện trên, tác giả đề xuất một dạng cấu kiện khác -- dạng S -- có khả năng chịu lực về nén và về nén uốn cao hơn các dạng đã xét. Cấu kiện dạng S có dây căng bao ngoài chịu uốn và nén uốn tốt tương đương dạng A, đồng thời có thêm các dây căng chéo khiến khả năng chịu nén (lực tới hạn) khi mất ổn định phản xứng tương đương như dạng B. Cấu kiện dạng S chế tạo khó hơn nhưng vẫn có thể thực hiện được. Cấu kiện dạng S cũng được nghiên cứu đầy đủ các vấn đề như các cấu kiện đã xét, bằng các phương pháp tính tương tự.

CHƯƠNG III xét cách tính toán các công trình trụ cao dùng cấu kiện ứng lực trước. Công trình trụ cao tựa trên các lớp đất nêo, chịu tải trọng chủ yếu là nén và uốn. Khi đoạn thân trụ giữa hai nút dây nêo là cấu kiện riêng rẽ (dạng A) liên kết giữa hai đoạn cấu kiện được coi là liên kết khớp (do độ cứng của thân cấu kiện nhỏ hơn độ cứng chung của cấu kiện hàng chục lần). Việc tính về bền đưa về tính một kết cấu ngoại tĩnh định và dùng các công thức ở chương II; việc tính về ổn định thì theo phương pháp chuỗi xích quen thuộc. Khi cấu kiện liên tục suốt

chiều dài trụ (dạng B, S), kết cấu trở nên phức tạp. Với các giả thiết vẫn được thường dùng khi tính trụ có dây neo như: tính từng lớp dây độc lập với nhau, độ cứng đàn hồi của gối tựa coi là tuyến tính, tác giả kiến nghị sử dụng phương pháp lực kết hợp với chuyển vị để tính hệ cơ bản siêu tĩnh. Trước hết phải tính toán tiếp các dạng cấu kiện cơ bản B và S chịu mômen tập trung ở gối và chịu lực tập trung không đối xứng. Có được lời giải theo phương pháp lực và phương pháp năng lượng. Đường cong đàn hồi giả thiết theo phương pháp năng

lượng có dạng $y = C_1 \sin \frac{\pi x}{l} + C_2 \sin \frac{2\pi x}{l} + \dots$. Dùng

phương pháp gần đúng không nhận được trị số góc xoay ở gối với độ chính xác cần thiết; khi đó phải kết hợp thêm phương pháp tích phân phương trình vi phân đường đàn hồi ở khu vực gần gối tựa.

Trụ liên tục trên gối đàn hồi được tính theo sơ đồ của phương pháp lực, với ẩn số là mômen ở thân và lực căng trong dầm tại tiết diện có gối neo, và chuyển vị của gối neo. Tại mỗi nút neo trung gian, lập được 3 phương trình: 2 phương trình liên tục của biến dạng tổng quát của dầm căng và của góc xoay tại tiết diện neo; một phương trình cân bằng lực. Tổng cộng được $3r - 2$ phương trình tuyến tính (r : số nhịp). Các hệ số của phương trình chính là các chuyển vị đơn vị trong mỗi cấu kiện cơ bản dạng B hay dạng S, có kể ảnh hưởng của lực nén và của ứng lực trước, đã được tính trong chương II và trong phần đầu chương này, nay được tập hợp thành bảng công thức tính sẵn. Bài toán có thể giải hoàn toàn bằng tay.

Để tính trụ dây neo có thân liên tục về ổn định, tác giả sử dụng ba phương pháp. Phương pháp chính xác với hệ cơ bản như khi tính về bền ổn định. Tại mỗi gối neo viết 3 phương trình: 2 phương trình liên tục biến dạng tổng quát của dây căng và của thân, 1 phương trình cân bằng lực, được hệ $3r-2$ phương trình tuyến tính thuần nhất. Cho triệt tiêu định thức của hệ phương trình, có thể tìm được lực tới hạn của trụ (đúng hơn là tìm được hệ số an toàn ổn định). Phương pháp nữa chuỗi xích dùng sơ đồ giả thiết có khớp ở thân cầu kiện, và kết quả cũng suy từ phương pháp chính xác. Bậc của ma trận ổn định chỉ còn $2r-1$ trong khi sai số hầu như không đáng kể. Phương pháp thanh tương đương dựa trên cơ sở phương pháp tham số trung bình của Leytes S.D. đã được dùng nhiều trong thực tế thiết kế. Với điều kiện cùng trị số lực tới hạn, cấu kiện rỗng ứng lực trước được qui đổi về cấu kiện đặc tương đương. Công thức quy đổi độ cứng EJ_{qd} cũng giống như công thức qui đổi thanh rỗng thông thường, gồm độ cứng EJ_t của thân cộng với độ cứng của tiết diện dây EJ_d chuyển trục về trục chung (diện tích tiết diện nhân với bình phương khoảng cách đến trục) nhưng độ cứng của dây phải nhân với hệ số chiết giảm s . Hệ số s xét sự thay đổi hình dạng của dây căng, sự biến dạng chung của hệ, được thiết lập thành các công thức đơn giản và đồ thị tùy theo dạng cấu kiện và bề rộng của chúng. Sau khi có độ cứng qui đổi, việc tính toán tiếp theo làm như phương pháp của Leytes cho đến khi tìm được chiều dài tính toán của từng nhịp. Từ hệ số này, sẽ tính trở lại lực tới hạn cho mỗi nhịp trụ và kiểm tra ổn định của nhịp trụ. Kết quả của hai phương pháp gần đúng đều.

xuất trên đã được so sánh với phương pháp chính xác, sai số hoàn toàn chấp nhận được trong thực tế thiết kế.

Cuối chương này, tác giả đề cập một số vấn đề phải giải quyết trong tính toán công trình thực tế. Khi tải trọng không nằm trong một mặt phẳng chính của cấu kiện, có thể phân tích tải trọng thành 2 thành phần nằm trong các mặt phẳng chính của cấu kiện và tính riêng rẽ từng mặt phẳng với toàn bộ lực nén. Tác giả giới thiệu một số giải pháp đã được dùng để chịu mô men uốn cục bộ và mômen xoắn, kiến nghị một số giải pháp khác và cách tính toán.

CHƯƠNG IV, giới thiệu các công tác thí nghiệm đã tiến hành trong quá trình nghiên cứu và một số ví dụ tính toán bằng số.

Mục đích thí nghiệm nhằm nghiên cứu sự làm việc thực tế của cấu kiện, kiểm tra lại các giả thiết về sự làm việc và sơ đồ tính toán của cấu kiện và kiểm tra lại các công thức tính toán. Việc thí nghiệm có 2 nội dung lớn : thí nghiệm các cấu kiện cơ bản và thí nghiệm một kết cấu cột diện thu nhỏ.

Mẫu cấu kiện cơ bản gồm 4 mẫu dạng A1, A2, B3, S'. Mẫu dài 1,2m, rộng 260 — 300mm ; dây căng thép cường độ cao đường kính 2mm. Mẫu được gia tải nén và nén uốn ; được đo biến dạng và ứng suất tại các tiết diện tính toán.

Mẫu cột diện là một kết cấu thu nhỏ từ công trình thật. Mẫu cao 4,2m, tựa lên 2 lớp dây neo, được gia tải nén và uốn. Lực nén đặt vào xà ngang. Lực ngang gây

uốn đặt phân bố đều vào các nút và tập trung vào xà ngang. Tại các tiết diện tính toán : tiết diện neo và tiết diện giữa nhịp, tiến hành đo độ võng, lực căng trong dây và ứng suất thớ biên của thân.

Việc thí nghiệm được tiến hành trong phòng nghiên cứu thực nghiệm kết cấu công trình của trường Đại học Xây dựng. Sau khi thí nghiệm xong, các kết quả được chỉnh lý và được vẽ thành các đồ thị : quan hệ giữa tải trọng với độ võng của cầu kiện, với lực căng trong dây căng, với ứng suất thớ biên thân. Đồng thời tiến hành tính toán bằng số các mẫu thí nghiệm theo phương pháp và công thức ở chương II và chương III. Kết quả lý thuyết khá sát với kết quả thí nghiệm : đối với cầu kiện cơ bản, sai số về lực căng và ứng suất lớn nhất là 20%, về độ võng là 8%. Đối với kết cấu cột điện, sai số lớn nhất không quá 25%.

Phân tích kết quả thí nghiệm cho phép rút ra kết luận tổng quát : lý thuyết tính toán cầu kiện cơ bản giả thiết cơ bản cũng như phương tính kết cấu tỏ ra là đúng đắn ; các giả thiết cơ bản làm sở cho lý thuyết tính đã được kiểm nghiệm. Ngoài ra trong từng thí nghiệm, cũng rút ra những kết luận cụ thể với từng dạng cầu kiện, từng giả thiết tính toán.

CHƯƠNG V, đề cập một số vấn đề tính toán kinh tế cho các cầu kiện cơ bản. Đề tính được khối lượng của cầu kiện, tác giả đề xuất cách tính trực tiếp theo nội lực hợp lý tức là nội lực bảo đảm điều kiện bền đều của các bộ phận

cấu kiện. Như vậy tiết diện và khối lượng cấu kiện sẽ là nhỏ nhất.

Đối với cấu kiện nên dùng tam, tiết diện cấu kiện sẽ nhỏ nhất khi ổn định đều về cục bộ cũng như về tổng thể (đối xứng và phản xứng). Từ điều kiện này lập được công thức tính diện tích của thân F , của dây F_d và của chống F_c và tính được khối lượng của cấu kiện. Khối lượng của cấu kiện, với chiều dài và tải trọng cho trước,

phụ thuộc vào độ thon $i = \frac{D}{l}$ của thân và góc α của

dây căng với thân. Đã nghiên cứu các xác định trị số i và góc α để cho khối lượng cấu kiện là nhỏ nhất. Góc α xác định từ điều kiện triệt tiêu đạo hàm của khối

lượng G theo $\alpha \left(\frac{\partial G}{\partial \alpha} = 0 \right)$ là góc α tối ưu về mặt khối

lượng dây và chống. Khối lượng thân nhỏ nhất khi dùng trị số i lớn nhất cho phép bởi điều kiện làm việc đàn hồi của vật liệu và điều kiện ổn định cục bộ của ống thân. Dùng các công thức khối lượng đã lập, vẽ được đồ thị khối lượng của các dạng cấu kiện với chiều dài l từ 10 đến 40m, chịu lực nén P từ 10 đến 100T. Từ các đồ thị này, rút ra nhận xét: khi tải trọng nhỏ (10T) hoặc chiều dài nhỏ (15m) cấu kiện dạng B nặng hơn các dạng A do cấu tạo phức tạp hơn; nhưng khi tải trọng từ 50T trở lên, dài trên 15m thì cấu kiện dạng B nhẹ hơn.

Ngoài ra, cũng thiết lập được phạm vi sử dụng hợp lý của mỗi dạng, tùy theo chỉ số P/l^2 để bảo đảm cho tiết diện không bị thừa do yêu cầu về độ mảnh (chứ không phải do yêu cầu chịu lực).

Đối với cấu kiện chịu nén uốn, từ điều kiện bền đều của thân và ~~chống~~^{dây} $\frac{N}{F} + \frac{M}{W} \leq R$; $N_d \leq R_d F_d$, thiết lập

được công thức tính F , F_d và sau đó lập được công thức tính khối lượng nhỏ nhất của các dạng cấu kiện. Độ thon i hợp lý khi khối lượng thân tính theo nén uốn bằng khối lượng thân khi tính theo ổn định. Còn góc α nói chung càng tăng thì khối lượng cấu kiện càng giảm; việc xác định α hợp lý sẽ dựa vào các điều kiện khác chứ không do điều kiện khối lượng. Góc α khiến khối lượng thay đổi ít là khoảng $14 - 18^\circ$ trở lên. Dùng các công thức mới lập, vẽ được đồ thị khối lượng cấu kiện chịu nén uốn theo tải trọng và theo góc α . Dựa vào các đồ thị khối lượng, có thể xác định được phạm vi áp dụng có lợi của từng dạng cấu kiện tùy theo tải trọng và chiều dài. Một đặc điểm của cấu kiện nén uốn, với cách chọn tiết diện như ở đây, là khối lượng trên đơn vị dài hầu như không phụ thuộc chiều dài tuyệt đối của cấu kiện. Điều này cho phép ta tận dụng tăng chiều dài cấu kiện (trong phạm vi cho phép do điều kiện ổn định) mà không làm tăng khối lượng chung của công trình trụ. Khi nén uốn, dạng B nặng hơn dạng A.

Dạng cấu kiện đề xuất, dạng S, cũng được nghiên cứu về khối lượng như vậy. Dạng S luôn luôn nhẹ hơn mọi dạng khác, cả khi chịu nén và nén uốn, trừ những trường hợp lực nhỏ, chiều dài ngắn.

Việc phân tích kinh tế các cấu kiện, tuy mới chỉ đề cập vấn đề khối lượng, có thể giúp cho người thiết kế chọn loại cấu kiện thích hợp, tùy theo chiều dài và tải trọng.

Các kết luận chính

1 — Cầu kiện ứng lực trước có khả năng chịu lực cao, độ cứng lớn, có thể áp dụng hiệu quả trong công trình cột cao. Độ ổn định và độ cứng của cầu kiện ứng lực trước gấp gần hai lần so với cầu kiện tương tự không ứng lực trước và từ 12 — 25 lần so với riêng thân không gia cường.

2 — Khi chịu nén và nén uốn, cầu kiện ứng lực trước làm việc như một hệ thanh rỗng, các thanh chịu nén và chịu kéo được. Trị số ứng lực trước trong cầu kiện hầu như không ảnh hưởng đến sự làm việc và khả năng chịu lực của cầu kiện.

3 — Các cầu kiện ứng lực trước đã xét cũng như công trình cột cao dùng các cầu kiện này đều có thể tính toán bằng tay, với một độ chính xác cần thiết đủ trong thực tế, sử dụng những công thức và bảng số đã lập sẵn.

4 — Hình dạng dầm căng ảnh hưởng lớn đến khả năng chịu lực của cầu kiện, đồng thời ảnh hưởng đến khối lượng cầu kiện. Mỗi dạng cầu kiện có một phạm vi sử dụng thích hợp, phụ thuộc tải trọng và chiều dài; có thể căn cứ vào đó để chọn dạng cầu kiện có khối lượng nhỏ nhất.